

UNITED STATES UTILITY PATENT APPLICATION

NAME OF INVENTORS: Harald Bottner

Seilerweg 5

DE-79108 Freiburg Germany

Axel Schubert

Sommerstrasse 25

DE-81543 Munchen Germany

Joachim Nurnus

Obere Dorfstrasse 18

DE-79395 Neuenburg-Zienken Germany

Martin Jagle

Dorfstrasse 37

DE-97350 Sexau Germany

TITLE OF INVENTION: Mikroelektromechanische Vorrichtung Und
Verfahren Zu Deren Herstellung

TO WHOM IT MAY CONCERN, THE FOLLOWING IS
A SPECIFICATION OF THE AFORESAID INVENTION

Mikroelektromechanische Vorrichtung und Verfahren zu deren Herstellung

Die Erfindung betrifft eine mikroelektromechanische
5 Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein
Verfahren zu deren Herstellung nach dem Oberbegriff des
Anspruchs 14.

Bei der Herstellung von mikroelektromechanischen
10 Vorrichtungen, z.B. Thermogeneratoren oder Peltierelementen,
werden üblicherweise Schichten auf einem Substrat angeordnet
(z.B. abgeschieden, aufgewachsen etc.).

Die Offenlegungsschrift DE 198 45 104 A1 beschreibt u.a. ein
15 Verfahren zur Herstellung von thermoelektrischen Wandlern,
hergestellt vorzugsweise auf Standardwafern der
Mikroelektronik wie Si/SiO₂. Dabei werden unterschiedliche
Bauelemente aus zwei Substratwafern, beschichtet mit den
jeweiligen komplementären n/p- Materialien, hergestellt
20 ("Sandwich-Bauweise"). Substratwafer sind Standardwafer die
u.a. entsprechend der Lehre der DE 198 45 104 A1 für das
Beschichten mit thermoelektrischen Material für die
Deviceherstellung vorbereitet sind.

25 Aufgrund der Unterschiede in den thermischen
Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem thermoelektrischen
Material und dem Substrat von nahezu einer Dekade ist bei
wenig oder schlecht haftenden Schichten mit Abplatzen oder
Rissbildung, bei sehr gut haftenden Schichten mit einer
30 Verkrümmung des Substratwafers zu rechnen.

Stand der Technik ist ebenso, dass auch auf andere Substrate
wie Mica, Glas und BaF₂ (siehe z.B.: Zou, H. et al.,
"Preparation and characterisation of p-type Sb₂Te₃ and n-type
35 Bi₂Te₃ thin films grown by coevaporation", J. Vac. Sci.
Technol. A (2001), Vol. 19, No.3, pp. 899-903 und Boikov, Yu.
A. et al, "Layer by layer growth of Bi₂Te₃ epitaxial

thermoelectric heterostructures" Proc 16th International Conference on Thermoelectrics. Dresden, Germany, August 1997, pp. 89-2.) erfolgreich thermoelektrische Materialien mit hoher Qualität aufgewachsen wurden.

5

Aus diesem Stand der Technik ist bekannt, dass ausschließlich Schichten im Bereich von einigen 100nm bis 1-3 μ m mit den dort erwähnten verschiedenen Dünnschichtmethoden hergestellt wurden. Größere Schichtdicken wurden nicht erreicht, einmal
10 wegen für eine technische Nutzung zu langer Wachstumszeiten, zum Anderen wegen der zu erwartenden Probleme auf Grund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten.

Eine Ausnahme stellen Schichten von IV-VI-Verbindungen, Bleichalkogenide, auf BaF₂ dar (Harmann, T.C., et al.: "High thermoelectric figures of merit in PbTe Quantum Wells", Electronic Mater., Vol. 25, No. 7 (1996), pp. 1121-1227). Hier sind Schichtdicken über 5 μ m erreichbar. Der Grund liegt
15 in den angepassten Gitterkonstanten der Materialien und den ebenfalls angepassten thermischen Ausdehnungskoeffizienten.
20

Zwar wird auch für V-VI-Verbindungen über Schichtdicken von mehr als 5 μ m-Dicke berichtet, es werden aber keine Aussagen über verwendete Substrate oder mögliche Devicetechnologien gemacht (siehe R. Venkatasubramanian et al.; "Thin-film
25 thermoelectric devices with high room-temperature figures of merit", Nature, Vol43, 11. Oct. 2001, 597- 602).

Mit den bekannten technischen Lösungen ist in Bezug auf alle
30 derzeit bekannten Substrate, insbesondere für die Nutzung in thermoelektrischen Bauelementen (z.B. Peltierelemente und Thermogeneratoren), kein stressfreies Aufwachsen ausreichender Schichtdicken von einigen Mikrometern bis zu mehreren 10 μ m möglich.

35

Unter stressfrei wird hier verstanden, dass die lateralen, mechanischen Spannungen in einer Schicht möglichst klein sein

sollen. Eine vollständige Verhinderung von lateralen mechanischen Spannungen ist technisch kaum realisierbar, wohl aber ein Zustand, in dem die noch vorhandenen lateralen Spannungen keine negativen Auswirkungen haben.

5

Stressfreies Aufwachsen ist weiterhin notwendig, damit das Aufbringen thermoelektrischer Schichten den üblichen Prozessen der Mikroelektronik, insbesondere photolithographischen Prozessen und Ätzverfahren, leicht zugänglich wird (siehe dazu DE 198 45 104 A1 und den Artikel H. Böttner et al.: "New Thermoelectric components in Micro-System-Technologies". Proc. 6th Workshop European Thermoelectric Society (ETS), Freiburg, (2001)).

15 Die Nachteile des Standes der Technik sind damit offensichtlich: Insbesondere dünnschichtthermoelektrische Bauelemente sind bei notwendigen Schichtdicken für eine übliche technische Nutzung nicht zugänglich. Es ist die Aufgabe, eine mikroelektromechanische Vorrichtung und ein
20 Verfahren zu deren Herstellung zu schaffen, bei denen eine stressfreie Schicht vorliegt bzw. ein stressfreies Aufwachsen auch für Schichtdicken von $> 10 \mu\text{m}$ möglich ist.

Die erfinderische Aufgabe wird durch eine
25 mikroelektromechanische Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Bei einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist mindestens eine Schicht mit mindestens einem Spannungsabbaumittel zum
30 gezielten Abbau in der Schicht vorliegender lateraler, mechanischer Spannungen gekoppelt. Unter einer Vorrichtung wird hier z.B. ein Zwischenprodukt (z.B. ein strukturierter Wafer) oder ein mikroelektromechanische Bauelement verstanden.

35

Dabei ist es vorteilhaft, wenn mindestens ein Spannungsabbaumittel zwischen Bereichen einer funktionellen

Struktur und/oder einem Bereich mit einer thermoelektrischen Schicht angeordnet ist.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung besteht darin, wenn
5 mindestens ein Bereich eines Substrats eine Antihaftschicht zur Reduktion oder Verhinderung der Anhaftung von Material der Schicht und damit zur Bildung mindestens eines Spannungsabbaumittels aufweist. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Antihaftschicht eine Ti-W-Legierung oder SiO_2
10 aufweist oder aus einer Ti-W Legierung oder SiO_2 besteht. Durch die Antihaftschicht kann gezielt eine laterale "Lücke" in einer Schicht erzeugt werden, die einen Spannungsaufbau über eine größere Fläche verhindert. Die Lücke als Spannungsabbaumittel ist mit der zu unterbrechenden Schicht
15 gekoppelt.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist bei mindestens einem Bereich auf dem Substrat ein vertikaler Versatz zwischen zwei lateral aneinandergrenzenden Schichten
20 als Spannungsabbaumittel angeordnet. Besonders vorteilhaft ist es, wenn der vertikale Versatz durch eine Vorstrukturierung des Substrates, insbesondere mit Elektrodenmetall und/oder einer Haftschicht gebildet ist. Durch die bewusste Erzeugung eines vertikalen Versatzes kann
25 ein Spannungsabbaumittel geschaffen werden.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn in mindestens einem Bereich des Substrates mindestens ein mechanisch und/oder chemisch erzeugter Graben als Spannungsabbaumittel angeordnet ist.
30 Vorteilhaft ist es, wenn mindestens ein Graben eine Tiefe von bis zu 100µm aufweist.

Das Verfahren ist besonders wirksam, wenn der Unterschied zwischen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten mindestens
35 einer Schicht und dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Substrats mindestens $3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, insbesondere mindestens 10^{-5} K^{-1} beträgt. Bei diesen Größenordnungen besteht eine

erhöhte Gefahr der mechanischen Verspannung.

Vorteilhaft ist es, wenn die Schichtdicke einer thermoelektrischen Schicht zwischen 2 und 100µm beträgt.

- 5 Besonders vorteilhaft ist es für Schichtdicken zwischen 20 und 100 µm.

- Vorteilhafterweise wird ein Substrat verwendet, das zumindest teilweise aus Mica, Glas, BaF₂, Silicium, Siliciumdioxid, Siliciumcarbid und / oder Diamant besteht. Besonders vorteilhaft sind dabei Substrate mit hoher Wärmeleitfähigkeit (z.B. Silizium, Diamant)
- 10

- Besonders vorteilhaft ist es, wenn mindestens ein aus zwei Substraten zusammengesetztes Halbleiterbauelement verwendet wird. Dies ist für ein Peltierelement und/oder ein Thermogeneratorelement vorteilhaft, welches z.B. in Sandwich-Bausweise hergestellt sind. Für solche mikroelektromechanischen Vorrichtungen ist es vorteilhaft, wenn die thermoelektrische Schicht einen Anteil an typischen thermoelektrischen Verbindungen, insbesondere Bi₂Te₃, PbTe, SiGe und / oder Skutterudite aufweist.
- 15
- 20

- Die Aufgabe wird auch durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 14 gelöst.
- 25

- Erfindungsgemäß wird eine Schicht (z.B. eine thermoelektrische Schicht) auf einem Substrat mit mindestens einem Spannungsabbaumittel zum gezielten Abbau von in der Schicht vorliegenden lateralen, mechanischen Spannungen gekoppelt. Damit wird ein Verfahren zum stressreduzierten Aufwachsen von Materialien, insbesondere thermoelektrischen Schichten, geschaffen. Es kann eine Entatressung erreicht werden, auch bei Temperaturdifferenz von einigen 100 °K zwischen der typischen Aufwachstemperatur von ca. 300 °C für thermoelektrische Schichten und der späteren typischen Betriebstemperatur bei Normalbedingungen.
- 30
- 35

Dabei ist es vorteilhaft, wenn mindestens ein Spannungsabbaumittel zwischen Bereichen einer funktionellen Struktur und/oder einem Bereich mit einer thermoelektrischen Schicht geordnet wird.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in mindestens einem Bereich des Substrats eine Antihafschicht zur Reduktion oder Verhinderung der Anhaftung von Material der Schicht und damit zur Bildung mindestens eines Spannungsabbaumittels aufgewachsen wird.

Auch ist es vorteilhaft wenn in einem Bereich auf dem Substrat ein vertikaler Versatz zwischen zwei lateral aneinandergrenzenden Schichten als Spannungsabbaumittel (2) angeordnet wird.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn in mindestens einem Bereich des Substrates mindestens ein Graben mechanisch und/oder chemisch als Spannungsabbaumittel erzeugt wird.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnungen an mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer ersten Stufe bei der Herstellung eines ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

30

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer zweiten Stufe bei der Herstellung eines ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

35 Fig. 3 eine schematische Draufsicht auf ein strukturiertes Substrat gemäß eines zweiten Ausführungsbeispiels;

Fig. 3a eine schematische Schnittansicht entlang der Linie A-A in der Fig. 3;

5 Fig. 4 Durchzeichnung einer mikroskopischen Draufsicht auf ein strukturiertes Substrat gemäß des zweiten Ausführungsbeispiels mit Rissen außerhalb von Elektrodenbereichen;

10 Fig. 5 eine schematische Draufsicht auf ein Substrat gemäß eines dritten Ausführungsbeispiel;

Fig. 5a eine schematische Schnittansicht entlang der Linie B-B in Fig. 5.

15 Auch wenn im Folgenden Beispiele für die Anordnung von thermoelektrischen Schichten angegeben werden, so erfasst die erfindungsgemäße Lehre auch andere Materialien, zwischen denen starke Unterschiede bei den thermischen Ausdehnungskoeffizienten bestehen.

20

Ausführungsbeispiel 1: Lateral selbststrukturierende Schichten aus thermoelektrischem Material

25 Die erheblichen Unterschiede in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten α der für den Aufbau von thermoelektrischen Bauelementen notwendigen Materialien, entsprechend der DE 198 45 104 A1, bedingen erhebliche mechanische Verspannungen. Dies ist insbesondere offensichtlich bei der Verwendung von Si/SiO₂-Substraten:

30

$$\begin{aligned}\alpha (\text{Bi}_2\text{Te}_3) &= 13 - 21 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \text{ (thermoelektrisches Material)}, \\ \alpha (\text{Si}) &= 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}, \\ \alpha (\text{SiO}_2) &= 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}.\end{aligned}$$

35 Der resultierende Effekt zeigt sich bei thermoelektrischen Schichten 1 auf 4" Si/SiO₂-Substraten bereits bei einfachen optischen Messungen. Verkrümmungen von einigen Millimetern

sind messbar. Es ist durch eigene Untersuchungen bekannt, dass thermoelektrisch für Peltierkühler und Thermogeneratoren sinnvoll nutzbare Schichten (z.B. Dicken von $\geq 20\mu\text{m}$) auch auf Grund der oben genannten Unterschiede in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten zum Abplatzen neigen, so z.B. auf bestimmten Substraten wie Si/SiO₂-und/oder TiW-Legierungen.

Ein Substrat ist hier ein Materialverbund mit möglichst hohem Leitwert mit einer möglichst dünnen Deckschicht aus einem elektrischen Isolator.

In einer ersten Ausführungsform der Erfindung (Fig. 1, 2) wird eine thermoelektrische Schicht 1 mit einem Spannungsabbauittel 2 zum gezielten Abbau von in der Schicht 1 vorliegenden, lateralen mechanischer Spannungen gekoppelt.

In Fig. 1 ist dargestellt, dass unter der thermoelektrischen Schicht 1 auf einer Substratoberfläche 11 bereichsweise eine Haftschrift 3 und in anderen Bereichen eine Antihaftschicht 4 angeordnet ist. Die Antihaftschicht 4 ist so ausgebildet, dass die thermoelektrische Schicht 1 nicht oder nur sehr schlecht auf der Antihaftschicht 4 anhaftet. Im vorliegenden Beispiel ist die Haftschrift 3 als dünne Gold-Schicht ausgebildet. Alternativ können auch Zinn-, Blei oder ähnliche Schichten als Haftschrift 3 verwendet werden. Die Schichtdicke liegt im Nanometerbereich. Die Haftschrift 3 ist über einer Elektrodenschicht 5 angeordnet.

Die Antihaftschicht 4 weist SiO₂ oder eine Ti-W-Legierung auf oder besteht ganz aus diesen Materialien. Die thermoelektrische Schicht 1 haftet nur schlecht oder gar nicht auf den genannten Materialien.

Das thermoelektrische Material wächst auf einem Wafer als Substrat 10 auf (z.B. mittels PVD), das strukturiert ist. Im Bereich der Antihaftschicht 4 wächst zwar thermoelektrisches Material auf, es wird aber nur schwach, u.U. nur mechanisch

verzahnt.

Mit einer entsprechenden Nachbehandlung, wie zum Beispiel mit Ultraschall, kann das schwach haftende Material herausgelöst werden. Der Aufbau der Probe hat dann im Querschnitt das Aussehen wie in Fig. 2. Die thermoelektrische Schicht 1 ist über den Bereichen der Antihaftschicht 4 entfernt, so dass eine laterale Strukturierung erreicht wurde. Die thermoelektrische Schicht 1 im Bereich über der Haftschicht 3 ist damit mit einer Lücke 2 als Spannungsabbaumittel gekoppelt.

Alternativ (z.B. im Fall einer Ti-W-Legierungsschicht) kann im Bereich der Antihaftschicht 4 kein Aufwachsen einer thermoelektrischen Schicht 1 stattfinden, so dass eine Nachbehandlung überflüssig ist. Die Ti-W-Schicht ist als Haftvermittler für Elektroden einsetzbar. Die Antihaftschicht 3 wird bei der Herstellung von Bauelementen mit solchen thermoelektrischen Schichten im Laufe der entsprechenden technologischen Prozesse entfernt.

In jedem Fall wird das erfindungsgemäße Spannungsabbaumittel 2 hier als laterale Selbststrukturierung während des Schichtwachstums erzeugt.

25

Ausführungsbeispiel 2: Definierte Rissbildung durch geometrische Sollbruchstellen entlang vertikaler Strukturanten sog. "Wellenbrecherstrukturen" zur Aufhebung lateraler Spannungen

30

Die erheblichen Unterschiede in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten α der für den Aufbau von thermoelektrischen Bauelementen notwendigen Materialien, entsprechend der oben erwähnten Offenlegungsschrift, bedingen erhebliche mechanische Verspannungen. Dies wird insbesondere bei der Verwendung von Si/SiO₂- Substraten deutlich:

35

$$\begin{aligned}\alpha (\text{Bi}_2\text{Te}_3) &= 13 - 21 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \text{ (thermoelektrisches Material)}, \\ \alpha (\text{Si}) &= 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}, \\ \alpha (\text{SiO}_2) &= 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}.\end{aligned}$$

5 Dieser Effekt zeigt sich deutlich bei thermoelektrischen
Schichten auf 4" Si/SiO₂ Substraten 10 bereits bei einfachen
optischen Messungen. Verkrümmungen von einigen Millimetern
sind messbar. Die notwendige Anhaftung der thermoelektrischen
Materialien wird durch die Einführung von Haftschichten 3
10 erreicht. Dabei sind sowohl in Bezug auf Material,
Schichtdicke und der Art der Prozessführung geeignete
Bedingungen einzuhalten.

Im Unterschied zu dem ersten Ausführungsbeispiel, wird beim
15 zweiten Ausführungsbeispiel nur mit einer Haftschicht 3
gearbeitet, die zur sicheren Anordnung der thermoelektrischen
Schicht 1 notwendig ist. In Fig. 3, 3a ist dies schematisch
dargestellt.

20 Fig. 3 zeigt schematisch eine mögliche Gesamtanordnung unter
Verwendung so genannter "Wellenbrecherstrukturen" zum Abbau
der unvermeidbaren lateralen Spannungen. Bei der Darstellung
entsprechend Fig. 3 wurde keine Aufsicht dargestellt, die
einer tatsächlichen Verteilung in Bereiche für die spätere
25 Nutzung als thermoelektrisches Bauelement und in Bereiche mit
ausschließlich Wellenbrecherfunktion entspricht.

In Fig. 3 ist schematisch das Erscheinungsbild einer Aufsicht
auf einen Teil eines Wafers 10 dargestellt. Fig. 3a zeigt
30 eine Schnittansicht gemäß der in Fig. 3 dargestellten
Schnittlinie.

Die schwarzen senkrechten Striche 13 in Fig. 3a zeigen die
Bereiche mit massiven Wachstumsstörungen an; dies stellt das
35 Spannungsabbauittel dar. Hervorgerufen werden diese
Wachstumsstörungen durch Höhenunterschiede von einigen
Mikrometern. Ein Spannungsaufbau durch laterale Verbindungen

der Schicht 1 wird durch die gezielt genutzten Höhenunterschiede vermieden.

Die Haftschrift 3 wird bei diesem Ausführungsbeispiel ganzflächig über die bereits vorher strukturierten Elektrodenmetalle 5 aufgebracht. Die Elektrodenmetalle 5 haben typischerweise eine Dicke von einigen Mikrometern (z.B. $2\mu\text{m}$; siehe z.B. den oben zitierten Artikel von Böttner et al.). Die Elektrodenmetalle 5 können mittels physikalischer und / oder chemischer Beschichtungsmethoden aufgewachsen werden.

Aufgrund der Vorstrukturierung entsteht auf dem Substrat 10 ein in der Fläche verteiltes Höhenprofil, das ein gleichmäßiges laterales Aufwachsen der Schicht 1 durch Wachstumsstörungen direkt an den Niveauunterschieden verhindert. Die an den vertikalen Versatzstellen auftretenden "Sollbruchstellen" stellen das Spannungsabbaumittel 2 dar, das hier gezielt erzeugt wird.

Die Haftung und das Aufwachsen der thermoelektrischen Schicht 1 als dichtes Material wird durch dieses Vorgehen nicht verschlechtert.

Die Wirkung dieser Strukturierung zeigt sich im Abbau des lateralen Stresses (Zugspannung, Druckspannung) 6, so dass eine Krümmung des Substrates 10 (Waferkrümmung) deutlich verringert wird. Solche Wafer sind einer Nachverarbeitung insbesondere bei photolithographischen Prozessen leichter zugänglich.

Mikroskopische Untersuchungen in Abhängigkeit der geometrischen Anordnung von strukturierten Kontaktmetallen und ganzflächiger Verwendung von Haftmetallschichten zeigen bei bislang üblichen Dimensionen und Verteilungen von Kontaktmetallflächen und Nichtkontaktmetallflächen eine Systematik in der Rissbildung in den ca. 10 bis $30\mu\text{m}$ dicken

thermoelektrischen Schichten 1 in den Bereichen um und zwischen den Kontaktmetallflächen.

Beschichtete Flächen bestimmter Dimensionen sowohl für die
5 Kontaktmetallflächen als auch für die
Nichtkontaktmetallflächen bleiben rissfrei. Dabei sind
rissfreie Flächen des thermoelektrischen Materials auf den
Elektrodenflächen generell wesentlich größer als auf den
Flächen außerhalb des Elektrodenbereiches.

10

In Fig. 4 ist eine schematische Wiedergabe einer
mikroskopischen Darstellung eines Wafersubstrates 2 mit
Flächen für Elektrodenmetall 5 dargestellt. Die
Elektrodenmetallflächen 5 sind durch die oben beschriebenen
15 Spannungsabbaumittel 2 getrennt. Das Elektrodenmetall 5
innerhalb der rechteckigen Flächen ist rissfrei, da innerhalb
dieser Flächen bedingt durch die Spannungsabbaumittel 2 keine
oder nur sehr geringe mechanische Spannungen auftreten.
Außerhalb dieser Elektrodenflächen 5, und nur außerhalb, sind
20 Risse 12 erkennbar.

Die Aufgabe für z.B. 4" bis 8"-Wafer, rissfreie funktionelle
Strukturen von gesputtertem thermoelektrischem Material zu
bekommen wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass
25 entsprechend der Ergebnisse der oben erwähnten
mikroskopischen Analyse weitere Metallstrukturen mit der
Schichtabfolge wie für die Elektrodenflächen mit ihrer
typischen Höhe von ca. $2\mu\text{m}$ und den notwendigen geometrischen
Dimensionen in Länge und Breite auf der Substratoberfläche
30 vorgesehen werden. Diese Strukturen, die den Abbau lateraler
Spannungen über den Wafer bewirken, weisen durch die erzielte
Vermeidung der Rissbildung im thermoelektrischen Material
weitere Vorteile für nachfolgende Prozessschritte auf:

- 35 - Vorteile durch Vermeidung der Rissbildung in der
funktionellen Struktur:
unerwünschtes Eindringen von z.B. Photolack oder anderen

Flüssigkeiten in Risse im thermoelektrischen Material und damit in der Nachfolge unkontrollierbare Verschmutzung oder schlechte Kontrolle nachfolgender Prozesse durch störende Zusatzeffekte wird vermieden;

5

- Vorteile durch Vermeiden lateraler Spannungen:
eine makroskopische Durchbiegung des Wafers wird vermindert, damit werden nachfolgende Photoprozesse, oder Beschichtungen erleichtert oder erst ermöglicht.

10

Ausführungsbeispiel 3: Entstressung durch frontgesägte oder frontgeätzte Wafer

- 15 In einem dritten Ausführungsbeispiel werden mechanisch und/oder chemisch gezielt Spannungsabbauittel 2 in das Substrat 10 (und ggf. in bereits aufgewachsene Schichten) eingebracht.

- 20 Als Substrat können z.B. bearbeitete 4"-8" Basiswafer dienen, bei denen in die Waferfrontseite ein Rinnen-/Grabenmuster in einem regelmäßigen Raster Vertiefungen gesägt oder geätzt werden. Die Tiefe dieser Gräben kann vorzugsweise bis zu 100µm betragen. Das Wachstum der thermoelektrischen Schicht 1 wird durch diese Gräben in einer Weise gestört, dass ein
25 Abbau des Stresses - in Form der Verminderung des Zugs oder Druckes- erreicht werden kann.

- 30 Im Ergebnis liegen damit auch großemäßig und geometrisch vordefinierte Plateaus vor, die die Grundfläche für den Aufbau kompletter thermoelektrischer Devices aufweisen. Vorteile dieser Anordnung sind:

1. eine periodische Unterbrechung gegen den Aufbau des lateralen Stresses;
- 35 2. eine vordefinierte Sollbruchstelle; diese ist vorteilhaft für die spätere Vereinzelung der auf dem Wafer

hergestellten Bauelemente.

Das Wachstum der thermoelektrischen Schicht wird durch diese Gräben in einer Weise gestört, dass ein Abbau des Stresses -
5 in Form der Verminderung des Zugs oder Druckes- erreicht werden kann.

In Fig. 5 ist schematisch eine Aufsicht auf einen Wafer 10 mit Ätz- oder Sägegräben als Spannungsabbaumittel 2 dargestellt. In Fig. 5a ist ebenfalls schematisch ein Schnittbild durch den Wafer entlang der Schnittlinie in Fig. 5 dargestellt. Deutlich ist im Schnittbild die Plateauanordnung zu erkennen - sog. "Schokoladenwafer". Breite und Anordnung der Ätz- oder Sägegräben ist variabel
15 und damit auch als Vorgabe für die Vereinzelung der Bauelemente aus dem prozessierten Wafer nutzbar. Die Tiefe der Gräben liegt hier im Bereich von einigen $10\mu\text{m}$; ebenso liegt die Breite der Gräben für beide Ausführungsformen (Ätzen oder Sägen) im Bereich einiger $10\mu\text{m}$. Das Sägeraster
20 kann sowohl im Bereich mehrerer Millimeter liegen, wie angedeutet in Fig. 5, als auch im Bereich der Größe einzelner Devices liegen (siehe DE 198 45 104 A1). Dies bedeutet ein Sägeraster bis in den Bereich einiger $100\mu\text{m}$.

25 Die Anordnung der gesägten oder geätzten Gräben kann vor oder nach dem Anordnen der Schicht vorgenommen werden, in der der laterale Spannungsabbau erfolgen soll.

Die drei Ausführungsbeispiele zeigen erfindungsgemäße
30 Ausbildungen, die auf einem Substrat 10 auch miteinander kombiniert werden können, wobei die zu wählende Variante sich nach den geometrischen und funktionellen Gegebenheiten richtet.

Bezugszeichenliste

- 1 Schicht (thermoelektrische)
- 2 Spannungsabbaumittel
- 5 3 Haftschrift
- 4 Antihaftschrift
- 5 Elektrodenmetall
- 6 Spannungsrichtung (lateral Stress)
- 10 10 Substrat
- 11 Substratoberfläche
- 12 Riss
- 13 Strich (Spannungsabbaumittel)

Patentansprüche

1. Mikroelektronische Vorrichtung mit mindestens einer
5 Schicht auf einem Substrat, insbesondere einer thermoelektrischen Schicht auf einem Substrat, wobei sich der thermische Ausdehnungskoeffizient mindestens einer Schicht und der thermische Ausdehnungskoeffizient des Substrats stark unterscheiden,
10 dadurch gekennzeichnet, dass

mindestens eine Schicht (1) mit mindestens einem Spannungsabbaumittel (2) zum gezielten Abbau in der
15 Schicht (1) vorliegender lateraler, mechanischer Spannungen gekoppelt ist.
2. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein
20 Spannungsabbaumittel (2) zwischen Bereichen einer funktionellen Struktur und/oder einem Bereich mit einer thermoelektrischen Schicht (1) angeordnet ist.
3. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach Anspruch 1 oder
25 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Bereich des Substrats (10) eine Antihafschicht (4) zur Reduktion oder Verhinderung der Anhaftung von Material der Schicht (1) und damit zur Bildung mindestens eines Spannungsabbaumittels (2) aufweist.
30
4. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die
Antihafschicht (4) eine Ti-W-Legierung oder SiO₂
aufweist oder aus einer Ti-W-Legierung oder SiO₂
35 besteht.
5. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach mindestens

- 5 einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einem Bereich auf dem Substrat (10) ein vertikaler Versatz zwischen zwei lateral aneinandergrenzenden Schichten (1) als Spannungsabbaumittel (2) angeordnet ist.
6. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der vertikale Versatz durch eine Vorstrukturierung des Substrates (10), insbesondere mit Elektrodenmetall (5) und/oder einer Haftschrift (3) gebildet ist.
- 10 7. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einem Bereich des Substrates (10) mindestens ein mechanisch und/oder chemisch eingebrachter Graben als Spannungsabbaumittel (2) angeordnet ist.
- 15 8. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Graben eine Tiefe von bis zu 100µm aufweist.
- 20 9. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Unterschied zwischen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten mindestens einer Schicht (1) und dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Substrats (10) mindestens $3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, insbesondere mindestens 10^{-5} K^{-1} beträgt.
- 25 30 10. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke einer thermoelektrischen Schicht (1) zwischen 2 und 100µm beträgt.
- 35

11. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke
zwischen 20 und 100µm beträgt.
- 5
12. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach mindestens
einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass das Substrat (10) zumindest
teilweise aus Mica, Glas, BaF₂, Silicium,
10 Siliciumdioxid, Siliciumcarbid und / oder Diamant
besteht.
12. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach mindestens
einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet
15 durch mindestens ein aus zwei Substraten (10)
zusammengesetztes Halbleiterbauelement.
12. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach mindestens
einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet
20 durch mindestens ein Peltierelement und/oder ein
Thermogeneratorelement.
13. Mikroelektromechanische Vorrichtung nach mindestens
einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
25 gekennzeichnet, dass die thermoelektrische Schicht
(1) einen Anteil an typischen thermoelektrischen
Material, insbesondere Bi₂Te₃, PbTe, SiGe und / oder
Skutterudite aufweist.
- 30 14. Verfahren zur Herstellung einer Mikroelektromechanischen
Vorrichtung nach Anspruch 1, insbesondere eines
thermoelektrischen Halbleiterbauelementes,
dadurch gekennzeichnet, dass
35 eine Schicht (1) auf einem Substrat (10) mit mindestens
einem Spannungsabbaumittel (2) zum gezielten Abbau von

in der Schicht (1) vorliegenden lateralen, mechanischen Spannungen gekoppelt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch
5 gekennzeichnet, dass mindestens ein Spannungsabbaumittel (2) zwischen Bereichen einer funktionellen Struktur und/oder einem Bereich mit einer thermoelektrischen Schicht (1) angeordnet wird.
- 10 16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einem Bereich des Substrats (10) eine Antihafschicht (4) zur Reduktion oder Verhinderung der Anhaftung von Material der Schicht (1) und damit zur Bildung mindestens eines
15 Spannungsabbaumittels (2) aufgewachsen wird.
17. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 14 bis 16,
dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens
20 einem Bereich auf dem Substrat (10) ein vertikaler Versatz zwischen zwei lateral aneinandergrenzenden Schichten als Spannungsabbaumittel (2) angeordnet wird.
18. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 14 bis 17,
dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens
25 einem Bereich des Substrates (10) mindestens ein Graben als Spannungsabbaumittel (2) mechanisch und/oder chemisch erzeugt wird.

Zusammenfassung

Mikroelektromechanische Vorrichtung und Verfahren zu deren Herstellung

5

Die Erfindung betrifft eine Mikroelektromechanische Vorrichtung und ein Verfahren zu deren Herstellung mit mindestens einer Schicht auf einem Substrat, insbesondere einer thermoelektrischen Schicht auf einem Substrat, wobei
10 sich der thermische Ausdehnungskoeffizient mindestens einer Schicht und der thermische Ausdehnungskoeffizient des Substrats stark unterscheiden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass mindestens eine Schicht (1) mit mindestens
15 einem Spannungsabbaumittel (2) zum gezielten Abbau in der Schicht (1) vorliegender lateraler, mechanischer Spannungen gekoppelt ist. Damit wird eine stressfreie Schicht erreicht bzw. ein stressfreies Aufwachsen möglich.

Fig. 2

20